

ファイバーモデルを用いた鋼長柱の座屈評価に関する検討

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○田川 陽一
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 谷上 裕明
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔
 大阪大学名誉教授 フェロー 西村 宣男
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 奈良 敬

1. はじめに

鋼アーチ橋のアーチリブや鋼トラスの上下弦材のように、細長比の大きい鋼長柱部材の耐震性能照査では、全体(部材)座屈の照査が必要となる場合がある。『鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン』¹⁾(以下、『ガイドライン』と呼ぶ)においては、幾何学的非線形と材料非線形をともに考慮した複合非線形骨組解析であれば、梁要素を用いて適切にモデル化を行うことにより部材座屈の影響は自動的に考慮されるとしている。その場合、対象部材に対して曲げ変形が生じるように端部を剛結にするかまたはピン結合にして製作誤差程度の初期たわみを与えるようなモデル化を要求している。しかしながら、ガイドラインには、複合非線形解析で部材座屈を考慮できることの妥当性が明示されていない。また、軸圧縮力を受ける鋼長柱の全体座屈は初期たわみや残留応力などの初期不整の影響を受けることが知られており、多くの基準でそれらの影響を考慮して鋼長柱の耐力曲線が決定されている。ところで、鋼橋の耐震性能照査に用いる骨組解析としてファイバーモデルを用いる場合がある。しかし、実際の鋼橋の耐震設計では、死荷重載荷時に生じる初期たわみを考慮するものはあるが道示 II に規定されている製作誤差の上限値の $L/1000$ (L :部材長)の初期たわみを導入しているかは不明である。また、残留応力を導入した解析は行われていない。そこで本研究では、両端をピン支持された鋼長柱の全体座屈に関する実験結果と、ファイバーモデルを用いた複合非線形解析の結果とを比較することにより、複合非線形を考慮したファイバーモデルで自動的に鋼長柱の全体座屈が評価可能かどうかについて検討を行い、また、解析モデルの分割数を変化させることにより分割数が解析結果に与える影響についても検討を行ったので報告する。

2. ファイバーモデルによる複合非線形骨組解析

2.1 対象とした実験供試体

文献 2)の実験供試体のうち、溶接のままの A シリーズと溶接応力除去の焼鈍を行った B シリーズで 60 キロ鋼(鋼種:Welcon2)を用いたもの、および、文献 3)の実験供試体のうち、幅厚比パラメータ $R < 0.7$ である B-55-27 を対象とした。図-1 に供試体の断面図、表-1 に供試体の主な構造諸元等を示す。詳細については文献 2), 3)を参照されたい。

2.2 解析モデル

非線形骨組解析プログラムとして、EERC⁴⁾を用いた。初期たわみ δ_0 は、道示 II に規定されている製作誤差の上限値である $L/1000$ を図-2 のように与えた。鋼材の応力-ひずみ関係は 2 次勾配 $E/100$ のバイリニアモデルとし、 σ_y の値は表-1 に示す。解析モデルに残留応力は導入していない。また、荷重は図-2 の N の方向に変位の単調増加で制御した。解析モデルは図-3 に示す 4, 8, 16 分割の 3 パターンとした。

表-1 供試体の諸元等

	柱番号	平均板厚 (mm)	B (mm)	H (mm)	σ_y (MPa)	細長比 パラメータ λ	幅厚比 パラメータ R
溶接材	B-55-27	4.4	118	56	280	0.64	0.51
	1A	10.5	250	251	485	0.46	0.58
	2A	10.7	250	251	540	0.65	0.61
	3A	10.6	251	251	564	0.83	0.62
	4A	10.6	250	253	508	0.95	0.60
	5A	10.7	249	253	529	1.14	0.60
焼鈍材	1B	10.7	251	251	438	0.44	0.54
	4B	10.7	250	251	468	0.91	0.56
	6B	10.9	251	252	470	1.22	0.56

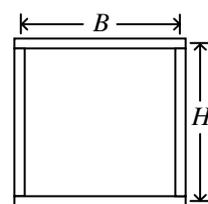


図-1 供試体の断面図

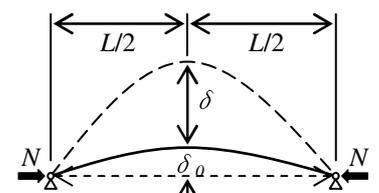


図-2 N, δ_0 , δ の説明

キーワード ファイバーモデル, 鋼長柱, 全体座屈

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻 TEL 06-6879-7599

3. 解析結果と考察

表-2にはファイバーモデルを用いた解析結果と実験結果の最大圧縮力 N_{max} を比較したものを示す。表-2から、分割数の違いにより最大圧縮力 N_{max} の結果に違いが生じ、6Aにおいては4分割と16分割で約10%の差がある。そのため、ファイバーモデルを用いた解析における照査を行う際には分割数による違いについて検討する必要がある。

図-4、図-5には4Aと4Bのモデルの解析から得られた圧縮力 N と柱中央点の面外変位 δ の関係を示す。図-6には最大圧縮力 N_{max} の解析値と実験値の比較を溶接材と焼鈍材に分けて示す。図-4と図-5に示すように、焼鈍材の解析結果は実験結果と近い値になっているが、溶接材については残留応力を導入していない今回のモデルでは解析値が実験値よりも大きくなっている。表-2と図-6に示すように他のモデルでも同様の結果となる。よって、実際の鋼部材は溶接材であるから実務設計において初期不整として $L/1000$ の初期たわみのみを考慮した複合非線形解析による鋼長柱の全体座屈の自動的な評価は難しい。したがって、初期たわみと残留応力を考慮したファイバーモデルを用いた解析で適切な評価を行える可能性があるが、汎用の解析プログラムでは残留応力を導入できるものは少なく現実的に課題は多い。現状の解決策としては道示IIの柱の耐荷力曲線のような初期不整を考慮した許容値とそれを使用した照査法が考えられる。

4. 結論

本論文では、実験結果と解析結果との比較により複合非線形を考慮したファイバーモデルを用いた解析での鋼長柱の全体座屈に関して、特に最大圧縮力の評価について検討を行った。その結果より、残留応力の影響により最大圧縮力を考慮できないため、複合非線形モデルにおいて残留応力を考慮するか、新しい照査法を開発する必要がある。また3通りの分割モデルでの検討により、分割数は最大圧縮力に影響を与えることを明らかにした。

参考文献

- 1) 宇佐美勉編著：鋼橋の耐震・制震ガイドライン， 社団法人日本鋼構造協会， 技報堂出版， 2006.
- 2) 伊藤文人， 田島二郎：高張力鋼を用いた溶接角柱の圧縮強さ， 鉄道技術研究報告， No.516， Jan.1966.
- 3) 山尾敏孝， 崎元達郎：溶接箱型断面柱の連成座屈強度実験， 土木学会論文報告集， 第335号， 1983年7月.
- 4) (株)地震工学研究開発センター：EERC/Fiber User's Manual， 2007.

表-2 実験と解析の最大圧縮力 N_{max}

	柱番号	実験結果	解析結果			4分割モデル 解析の N_{max} 実験の N_{max}
		N_{max} (kN)	4分割 N_{max} (kN)	8分割 N_{max} (kN)	16分割 N_{max} (kN)	
溶接材	B-55-27	288	399	394	394	1.38
	1A	4577	4724	4706	4699	1.03
	2A	4410	5208	5166	5150	1.18
	3A	4214	5130	5018	4984	1.22
	4A	3783	4326	4182	4118	1.14
	5A	3430	3814	3539	3519	1.11
焼鈍材	6A	2989	3227	2993	2935	1.08
	1B	4263	4357	4344	4336	1.02
	4B	4018	4078	3945	3907	1.01
	6B	3038	3132	2920	2866	1.03

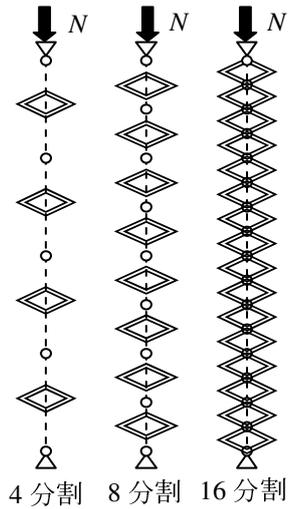


図-3 解析モデル

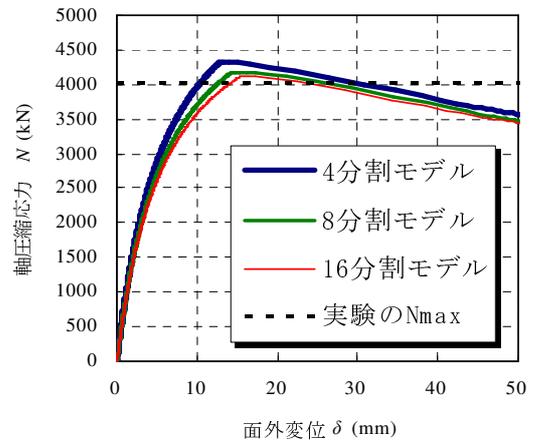


図-4 4A(溶接材)の N - δ

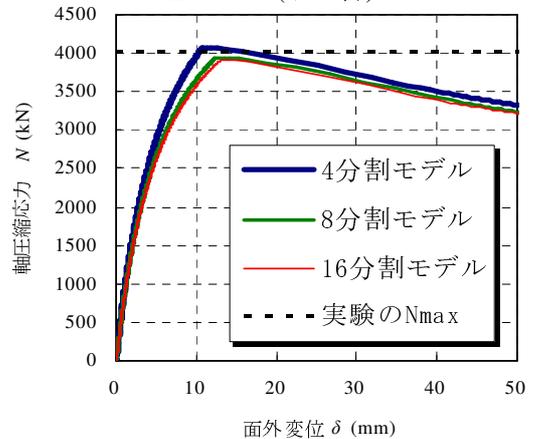


図-5 4B(焼鈍材)の N - δ

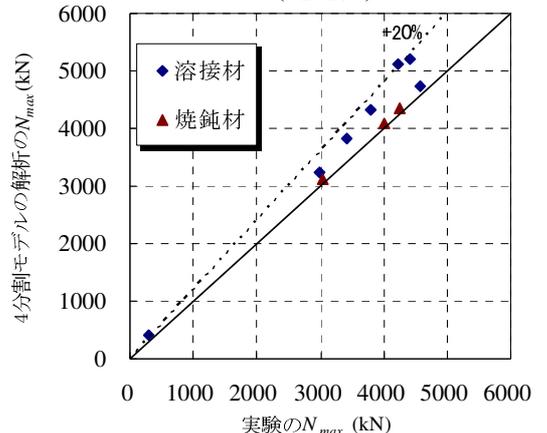


図-6 実験と解析の最大圧縮力 N_{max}